



移动扫码阅读

侯秋丽,邢宇鑫,甘柯,等.密云水库周边典型金矿尾矿库土壤环境分析及重金属污染评价[J].能源环境保护,2019,33(6):55-59.

Hou Qiuli, Xing Yuxin, Gan Ke, et al. Soil environment analysis and heavy metal pollution assessment of typical gold mine tailings ponds around Miyun Reservoir[J]. Energy Environmental Protection, 2019, 33(6): 55-59.

# 密云水库周边典型金矿尾矿库土壤环境 分析及重金属污染评价

侯秋丽,邢宇鑫,甘柯,李喆

(北京市地质工程设计研究院,北京 101500)

**摘要:**为研究密云水库周边金矿尾矿库的重金属污染情况,选择水库北部上游汇水区两座典型金矿尾矿库进行调查。采集表层(0-20 cm)土壤、深部(0-200 cm)土壤样品,通过对样品中Cu、Pb、Cr、Cd、As、Hg等6种重金属元素含量的测试分析土壤环境。采用单因子指数法、尼梅罗综合污染指数法以及 Hakanson 潜在生态危害指数法评价金矿尾矿库重金属污染和生态风险。

**关键词:**金矿尾矿库;土壤;重金属;污染评价

中图分类号:X825

文献标识号:A

文章编号:1006-8759(2019)06-0055-05

## Soil environment analysis and heavy metal pollution assessment of typical gold mine tailings ponds around Miyun Reservoir

HOU Qiuli, XING Yuxin, GAN Ke, LI Zhe

(Beijing Geological Engineering Design and Research Institute, Beijing 101500, China)

**Abstract:** Two typical gold mine tailings ponds in the upstream catchment area in the north of Miyun Reservoir were selected to study the heavy metal pollution situation of gold mine tailings pond near the reservoir. Surface soil (0~20 cm) and deep soil (0~200 cm) samples were collected to analyze the soil environment by detecting the content of six heavy metals (Cu, Pb, Cr, Cd, As and Hg). Single factor index method, Nimerocomposite pollution index method and Hakanson potential ecological risk index method were applied to evaluate heavy metal pollution and ecological risk assessment.

**Keywords:** Gold mine tailings pond; Soil; Heavy metal; Pollution evaluation

## 0 引言

北京的城市发展严格受资源制约,第一位就是水。自官厅水库因严重污染退出饮用水系统后<sup>[1]</sup>,密云水库是北京唯一的地表水水源地<sup>[2]</sup>。作为北京的“生命水”,密云水库直接关系到首都社会、经济的可持续发展。然而,在水库主要的供水河流白河和潮河流域(北京市)范围内,金属尾矿库成为威胁密云水库水质安全的潜在风险源。金属矿山在开采、选冶过程中会使重金属元素在土壤中不断积累,重金属具有毒性、持

久性以及难降解<sup>[3]</sup>。受到重金属污染的尾矿矿砂在雨水的淋溶、搬运用作用下,使矿砂里的重金属元素通过水体污染或食物链等途径进入动植物以及人体中<sup>[4]</sup>,从而影响植物的生长、动物的生存和人类健康。

近年来,国内对金属矿区土壤的重金属含量及其分布状况进行了大量研究,但研究主要集中在对铁矿、铜矿区土壤中重金属的污染分析评价上,很少有针对金矿尾矿库且不同矿区土壤及尾矿中重金属污染评价的对比研究<sup>[5]</sup>。因此,本文在基于前人对金属矿山各种研究的基础上,选取

收稿日期:2019-05-15

第一作者简介:侯秋丽(1986-),女,北京人,水工环工程师,硕士,研究方向为矿山水土污染防治。

E-mail:576078758@qq.com

密云水库北部上游汇水区的两座金矿尾矿库进行取样调查研究,研究金矿尾矿库及其周边土壤的重金属污染,以期为北京市的重金属污染防治、矿山修复以及作为农用地的可行性提供依据。

## 1 尾矿库概况

金矿尾矿库 A、B 均位于白河主河道流域附近,其尾矿淋滤水或雨季排洪水将直接排入白河。

金矿尾矿库 A 下游 300 m 为白河河道。尾矿库 A 具体建设年代已不可考,现已闭库。目前尾矿库堆积库容约为 400 m<sup>3</sup>,大部分尾矿砂已转移至他处。现有沟口筑水泥坝高 1.5 m,坝底有多个排水管道,西侧建排水渠,整个库上已覆土种植灌木植被,个别区域植物出现枯死现象。

金矿尾矿库 B 南侧 200 m 为白河河道,尾矿库约建于 80 年代,现已闭库。目前尾矿库库容约 1.5 万 m<sup>3</sup>,主坝高 10 m,尾矿库内已覆土种植灌木绿化。主坝上装有防护铁栏,两侧修筑排水渠。尾矿库坝下东侧一排房屋为黄金选矿厂,现已废弃,西侧为选矿堆积的少量废渣堆和废液坑。下游 200 m 为白河河道,现已建成湿地公园,尾矿库内重金属极易随雨水淋滤作用汇入河道中。尾矿库周围植被生长良好,未发现明显因重金属污染引起的动植物死亡或人类疾病。

## 2 土壤样品采集和分析

土壤样品采集采用网格法,网格间隔从 20 m×10 m 至 100 m×100 m 不等,在尾矿库下游重金属易淋滤区域、河流域及村庄周围重点布样。尾矿库 A 因库容较小,共采集 6 个土壤样品,尾矿库 B 共采集 18 个土壤样品。地表土样采样深度为表层土 0-20 cm,深部土样的采取根据采样点重金属可能的淋滤程度及距离河流村庄远近而定,挖取探槽取样,深度 1-1.5 m,每只探槽取深部土样 3 个。将采集的土壤样品装入布袋或聚乙烯塑料袋,内外均附标签,标明采样编号、名称、采样深度、采样地点、日期、采集人等。土壤样品送往华北有色地质勘查局燕郊中心实验室进行分析测试。其中 Cu、Pb、Cr、Cd 四种元素采用电感耦合等离子质谱法测试<sup>[6]</sup>,As、Hg 元素采用氢化物发生原子荧光法测试<sup>[7]</sup>。

## 3 尾矿库土壤环境风险评价

### 3.1 评价标准

结合区域实际状况及国家标准,研究中使用《土壤环境质量农用地土壤污染风险管控标准(试行)》(GB 15618-2018)<sup>[8]</sup>和陈同斌等《北京市土壤重金属含量背景值的系统研究》<sup>[9]</sup>中土壤元素背景值进行土壤环境分析和评价,对采集的样品进行重金属元素含量分析测试,选取对该区域影响较大的 6 种重金属元素作为评价因子(见表 1)。

表 1 两种参考标准的土壤重金属含量限值

单位:(mg·kg<sup>-1</sup>)

参考标准	Cu	Pb	Cr	Cd	As	Hg(10 <sup>-9</sup> )
北京市元素背景值	18.70	24.60	29.80	0.12	7.09	30.00
pH≤5.5	50	70	150	0.3	40	1300
《土壤环境质量 农用地土壤污染 风险管控标准》 5.5<pH≤6.5	50	90	150	0.3	40	1800
6.5<pH≤7.5	100	120	200	0.3	30	2400
pH>7.5	100	170	250	0.6	25	3400

### 3.2 尾矿库土壤环境分析

尾矿库土壤重金属检测结果见表 2-3。

表 2 尾矿库 A 土壤重金属含量及污染超标倍数

元素	平均值 /(mg·kg <sup>-1</sup> )	标准差	变异系数 /(%)	农用地土壤污染风险管控标准		北京市土壤重金属含量背景值	
				pH>7.5	超标倍数	背景值	超标倍数
Cu	36.78	18.74	50.96	100	—	18.70	1.97
Pb	24.15	7.13	29.50	170	—	24.60	—
Cr	64.90	23.54	36.27	250	—	29.80	2.18
Cd	0.18	0.07	40.13	0.6	—	0.12	1.5
As	8.06	3.99	49.57	25	—	7.09	1.14
Hg(10 <sup>-9</sup> )	21.00	9.76	46.46	3400	—	30.00	—

表 3 尾矿库 B 土壤重金属含量及污染超标倍数

元素	平均值 ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	标准差	变异系数 (%)	农用地土壤污染风险管控标准		北京市土壤重金属含量背景值	
				pH>7.5	超标倍数	背景值	超标倍数
Cu	57.75	43.82	75.87	100	—	18.70	3.09
Pb	51.80	44.89	86.66	170	—	24.60	2.11
Cr	101.08	63.61	62.93	250	—	29.80	3.39
Cd	0.37	0.34	92.12	0.6	—	0.12	3.08
As	6.24	3.02	48.38	25	—	7.09	—
Hg( $10^{-9}$ )	207.44	362.41	174.70	3400	—	30.00	6.91

经对比分析,土壤样品重金属元素含量平均值均不超过农用地土壤污染风险管控标准风险筛选值,Cu、Cr、Cd、As 四种重金属元素含量均超过北京市土壤重金属含量背景值。

尾矿库 A 中 Cu 元素含量均值为背景值的 1.97 倍,属超标元素;Cr 元素含量均值为北京市土壤背景值的 2.18 倍,说明该地区 Cr 含量超标;Cd 元素含量是背景值 1.5 倍,属超标元素;As 元素含量是背景值 1.14 倍,略微超标,Pb、Hg 元素含量不超过背景值,可认为重金属含量处于正常范围。

尾矿库 B 的重金属元素的变差系数大说明该区域重金属元素分布极不均匀,6 种重金属元素变异系数均很高,Hg 变异系数达到 174.7%,采样点分布在选矿厂旧址周围,废液排放造成的冲沟和积水坑很多,说明人为影响因素极大。Cu、Pb、Cr、Cd、Hg 五种重金属元素含量均高于背景值,分别为背景值的 3.09 倍、2.11 倍、3.39 倍、3.08 倍,说明在某些地区重金属有大量富集。除 As 含量正常,其他重金属元素均值含量都比背景值高,说明尾矿库下游区域受到重金属影响较大。

### 3.3 评价方法

本文选取北京市土壤重金属含量背景值进行污染评价以及潜在生态风险评价(见表 2、3)。国内外近年来建立了许多土壤重金属风险评价方法,从含量、毒性、生态影响、范围等各个方面反映重金属在土壤环境中的风险等级<sup>[10]</sup>。本文选择了单因子指数法、尼梅罗指数法和潜在生态危害指数法进行尾矿库风险评价研究<sup>[11]</sup>。

单因子指数法是可以判断出土壤中主要污染元素,能够直观反映每种重金属污染超标情况,是其它综合评价的基础。尼梅罗指数法则综合考虑所有的污染元素,可以评定出土壤环境质量的总体污染情况,尼梅罗指数法分级标准见表 4。潜在生态危害指数法结合环境化学、生物毒理学、生态学等方面的内容,以定量的方法划分出重金属潜

在危害的程度<sup>[12]</sup>。本研究中 Pb、Cu、Cr、Cd、As 和 Hg 六种重金属元素的毒性系数分别为 5、5、2、30、10、40<sup>[13]</sup>。潜在生态危害单项系数和潜在生态危害指数分级标准见表 5。

表 4 尼梅罗指数分级标准

污染等级	综合污染指数	污染程度	污染水平
1	$P \leq 0.7$	安全	清洁
2	$0.7 < P \leq 1$	警戒线	尚清洁
3	$1 < P \leq 2$	轻污染	污染物超过起始值,作物开始受污染
4	$2 < P \leq 3$	中污染	土壤和作物污染明显
5	$P > 3$	重污染	土壤和作物污染严重

表 5  $E_i^i$  和  $RI$  的分级标准

潜在生态危害 单项系数 $E_i^i$	污染等级	潜在生态 危害指数 $RI$	污染等级
$E_i^i \leq 40$	轻微生态危害	$RI \leq 150$	轻微生态危害
$40 < E_i^i \leq 80$	中等生态危害	$150 < RI \leq 300$	中等生态危害
$80 < E_i^i \leq 160$	强生态危害	$300 < RI \leq 600$	强生态危害
$160 < E_i^i \leq 320$	很强生态危害	$600 < RI$	极强生态危害
$320 < E_i^i$	极强生态危害		

### 3.4 尾矿库环境风险评价

#### (1) 单因子指数分析

表 6 尾矿库单因子指数平均值表

尾矿库	Cu	Pb	Cr	Cd	As	Hg
尾矿库 A	1.97	0.98	2.18	1.48	1.14	0.70
尾矿库 B	3.09	2.11	3.39	3.07	0.88	6.91

从上表可看出,尾矿库 A、尾矿库 B 重金属元素均有不同程度的污染,尾矿库 A 单因子指数反应污染程度  $Cr > Cu > Cd > As > Pb > Hg$ , Cu、Cr 元素污染较为严重,其均值含量是背景值 2 倍,Cd、As 均值含量是背景值的 1 倍以上。

尾矿库 B 除 As 外 5 种元素均严重超出标准值,Hg 元素含量均值为背景值的 6 倍以上,说明该采样点周围受到 Hg 的严重污染,Cr、Cd、Cu 元素含量均值为背景值的 3 倍以上,Pb 元素含量均值为背景值 2 倍以上,采样点周围同样受到严重污染,按照单因子指数平均值排列重金属元素污染程度为:  $Hg > Cr > Cu > Cd > Pb > As$ 。

## (2) 尼梅罗指数分析

表 7 尾矿库 A 尼梅罗指数表

	污染等级	综合污染指数	污染程度	污染水平
Cu	4	2.70	中污染	土壤和作物污染明显
Pb	3	1.12	轻污染	污染物超过起始值, 作物开始受污染
Cr	4	2.69	中污染	土壤和作物污染明显
Cd	3	1.84	轻污染	污染物超过起始值, 作物开始受污染
As	3	1.44	轻污染	污染物超过起始值, 作物开始受污染
Hg	2	0.92	警戒线	尚清洁

从表 7 可以看出,尾矿库 A 中 Cu、Cr 元素属于中污染程度,Pb、Cr、As 为轻污染程度,Hg 达到警戒线程度,整个尾矿库及下游地区均有轻微的污染。

表 8 尾矿库 B 尼梅罗指数表

	污染等级	综合污染指数	污染程度	污染水平
Cu	5	5.30	重污染	土壤和作物污染严重
Pb	5	4.01	重污染	土壤和作物污染严重
Cr	5	5.88	重污染	土壤和作物污染严重
Cd	5	5.85	重污染	土壤和作物污染严重
As	3	1.28	轻污染	污染物超过起始值, 作物开始受污染
Hg	5	16.70	重污染	土壤和作物污染严重

尾矿库 B 中重金属污染非常严重,Cu、Cr、Cd、Hg、Pb 达到重污染,尤其是 Hg,综合污染指数 16.70 远远超过重污染界值 3。As 为轻污染,6 种元素全部未达到清洁程度。

## (3) 潜在生态危害指数分析

表 9 尾矿库 A 潜在生态危害指数表

采样点号	单向污染指数							污染等级
	Cu	Pb	Cr	Cd	As	Hg	RI	
THK1-01	8.07	5.18	4.44	47.90	17.91	48.00	131.51	轻微生态危害
THK1-02	10.91	6.44	5.71	68.07	18.19	30.67	139.99	轻微生态危害
THK1-03	5.00	4.53	2.35	30.25	6.61	16.00	64.75	轻微生态危害
THK1-04	5.37	5.57	3.44	27.73	12.07	16.00	70.19	轻微生态危害
THK1-05	11.07	2.24	3.56	30.25	5.64	20.00	72.76	轻微生态危害
THK1-06	18.58	5.49	6.62	63.03	7.73	37.33	138.78	轻微生态危害

由表 9 得,虽然六种重金属元素的含量均略微超标,但潜在生态危害综合指数为轻微生态危害,主要因为毒性系数较大的重金属元素含量较小,故整个地区污染程度相对较轻。但在个别采

样点潜在生态危害综合指数(RI)接近 150,即将进入中等生态危害范围,故需要注意尾矿库 A 及下游地区重金属的迁移转化,适当进行植被恢复来稳定重金属的溶解迁移。

表 10 尾矿库 B 潜在生态危害指数表

采样点号	单向污染指数							污染等级
	Cu	Pb	Cr	Cd	As	Hg	RI	
THK2-01	11.68	5.89	7.18	35.29	10.23	22.67	92.95	轻微生态危害
THK2-02	15.83	6.48	6.85	32.77	7.83	37.33	107.09	轻微生态危害
THK2-03	14.95	11.69	8.52	100.84	8.29	48.00	192.29	中等生态危害
THK2-04	45.45	38.21	5.66	115.97	15.80	1114.67	1335.75	极强生态危害
THK2-05	13.82	5.61	8.66	22.69	8.53	42.67	101.98	轻微生态危害
THK2-06	40.64	23.78	9.93	108.40	8.43	1076.00	1267.19	极强生态危害
THK2-07	19.04	11.91	5.76	80.67	10.66	529.33	657.37	极强生态危害
THK2-08	29.95	20.16	4.46	335.29	10.76	1613.33	2013.96	极强生态危害
THK2-09	10.24	7.15	4.30	52.94	8.29	209.33	292.27	中等生态危害
THK2-10	14.79	2.60	20.40	100.84	1.61	16.00	156.24	中等生态危害
THK2-11	8.56	5.06	3.74	37.82	4.80	50.67	110.63	轻微生态危害
THK2-12	6.84	4.84	3.90	30.25	9.97	12.00	67.81	轻微生态危害
THK2-13	11.31	2.99	12.42	27.73	2.37	17.33	74.15	轻微生态危害
THK2-14	4.39	5.24	2.89	65.55	6.80	24.00	108.86	轻微生态危害
THK2-15	9.09	11.34	4.92	209.24	12.16	62.67	309.42	强生态危害
THK2-16	10.27	16.34	5.33	224.37	18.76	70.67	345.73	强生态危害
THK2-17	3.82	4.55	2.28	42.86	3.99	14.67	72.17	轻微生态危害
THK2-18	7.27	5.65	4.91	32.77	9.11	17.33	77.05	轻微生态危害

由表9得,9个采样点为轻微生态危害,3个采样点为中等生态危害,2个采样点为强生态危害,4个采样点为极强生态危害,这说明尾矿库B已经受到重金属的严重污染,且由于尾矿库距离白河河道很近,重金属极易因雨水淋滤或随水流迁移至河流内,造成尾矿库下游生态环境受到重金属污染和影响。Hg和Cd的含量很高,且毒性系数大,成为风险贡献最大的元素。

## 4 结语

(1)尾矿库A和尾矿库B土壤均受到重金属污染,其中尾矿库A的Cu、Cr、Cd、As四种重金属元素含量均超标,Cu、Cr污染最为严重,含量均值为背景值的2倍。尾矿库B除As外的Cu、Pb、Cr、Cd、Hg五种重金属元素含量均超标,其中,Hg元素含量均值为背景值的6倍以上,Hg严重污染,Cr、Cd、Cu元素含量均值为背景值的3倍以上,Pb元素含量均值为背景值2倍以上,尾矿库B受重金属污染更为严重。

(2)尾矿库A中Cu、Cr元素属于中污染程度,Pb、Cr、As为轻污染程度。潜在生态危害综合指数为轻微生态危害,污染程度相对较轻。尾矿库B中6种元素全部未达到清洁程度,重金属污染非常严重,Cu、Cr、Cd、Hg、Pb达到重污染,Hg最为严重,综合污染指数16.70远远超过重污染界值3。尾矿库B中有部分采样点为轻微生态危害,部分采样点为中等生态危害,强生态危害,和极强生态危害,这说明尾矿库B已经受到重金属的严重污染。

(3)两个尾矿库的超标元素虽然都未超过农用地土壤污染风险管控标准,但均超过了北京市土壤背景值。由于尾矿库距离白河河道很近,重金属极易因雨水淋滤或随水流迁移至河流内,造成尾矿库下游生态环境受到重金属污染和影响。

为了防止密云水库水质受到重金属污染,应加强对废弃尾矿库及周边土壤、水等环境的监测,从而保护密云水库入水水质的安全。

## 参考文献

- [1] 王铁宇,罗维,吕永龙,等.官厅水库周边土壤重金属空间变异特征及风险分析[J].环境学报,2007(2):225-231.
- [2] 尚林源,孙然好,汲玉河,等.密云水库入库河流沉积物重金属的风险评价[J].环境科学与技术,2011,34(S2):344-348.
- [3] 黄兴星,朱先芳,唐磊,等.北京市密云区水库上游金铁矿区土壤重金属污染特征及对比研究[J].环境科学学报,2012,32(6):1520-1528.
- [4] 王涛,刘足根,陈宏文,等.江西省典型矿区农村饮用水源地重金属污染分析[J].湖北农业科学,2012,51(16):3597-3600+3606.
- [5] 张爱星,聂义宁,季宏兵,等.北京市水源涵养区上游万庄金矿田土壤重金属空间分布、形态特征及污染评价[J].农业环境科学学报,2014,33(12):2321-2328.
- [6] 王少华,杨勃,刘苏明,等.铜陵狮子山杨山冲尾矿库重金属元素释放的环境效应[J].高校地质学报,2011,17(1):93-100.
- [7] 唐磊,张会昌,季宏兵,等.北京市平谷应急水源地周边农业土壤中重金属分布及风险评价[J].农业环境科学学报,2015,34(10):1897-1904.
- [8] 生态环境部.土壤环境质量农用地土壤污染风险管控标准(试行):GB15618-2018[S],中国环境科学出版社出版,2018.
- [9] 陈同斌,郑袁明,陈煌,等.北京市土壤重金属含量背景值的系统研究[J].环境科学,2004(1):117-122.
- [10] 赵其国.土壤与环境问题国际研究概况及其发展趋向——参加第16届国际土壤学会专题综述[J].土壤,1998(6):281-290+310.
- [11] 马亚梦,谭秀民,毛香菊,等.典型铁尾矿库重金属污染评价及生态修复建议[J].矿产保护与利用,2016(3):49-56.
- [12] 王禄仕,张亚宁,朱维晃,等.汤峪水源水库沉积物中重金属形态分布特征及潜在生态风险评价[J].西安建筑科技大学学报(自然科学版),2010,42(4):567-572.
- [13] 王志楼,谢学辉,王慧萍,等.典型铜尾矿库周边土壤重金属复合污染特征[J].生态环境学报,2010,19(1):113-117.